第 38 卷第 3 期 2018 年 2 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.38,No.3 Feb.,2018

DOI: 10.5846/stxb201612012471
陈阳, 岳文泽, 张亮.空间约束背景下海岸带湿地保护边界研究.生态学报,2018,38(3):900-908.
Chen Y, Yue W Z, Zhang L.Mapping of wetland reserve boundary in coastal zone utilizing spatial constraints assessment.Acta Ecologica Sinica,2018,38(3):900-908.

空间约束背景下海岸带湿地保护边界研究

陈 阳, 岳文泽*, 张 亮
浙江大学土地管理系, 杭州 310058

摘要:湿地保护边界划定是维护湿地可持续发展的基础前提,也是协调湿地保护与农地利用、城镇发展土地配置与空间布局的必经途径。研究从湿地保护边界的"源-汇"生态景观互动视角着眼,明晰了湿地保护源及保护优先等级,建构了空间约束评价与生态断界来刻画汇景观空间层次分异,借助最小累积阻力模型测度与划分了湿地保护边界及其类型。研究发现:(1)基于多重因素的空间约束评价与湿地生态断界的划分,通过最小阻力模型有效地刻画外部因子集成对湿地保护的限制及差异,以量化方式描绘湿地保护所处阻力最小地带,为湿地保护边界划分提供了新的思路。(2)杭州湾南岸生态断界与中高约束的区域占据研究区 52.69%比例,无约束地域仅为 12.79%,奠定了综合因素空间约束强势的基本格局。加之低度约束区域占据 34.53%,显示杭州湾南岸区域多介于高低空间约束性势转换或过渡阶段,压缩了湿地保护的空间。(3)研究划分湿地保护边界范围与缓冲区带为 49.11、24.07km^2,面积总和仅占据杭州湾南岸 5.47%,湿地保护拓展和弹性调整空间极为有限。除生态断界提供湿地保护的天然边界外,湿地保护界限表现为保育林区、农地延伸型和水源保护型三类。

关键词:湿地保护边界;源-汇景观;空间约束评价;生态断界;最小累积阻力模型;海岸带

Mapping of wetland reserve boundary in coastal zone utilizing spatial constraints assessment

CHEN Yang, YUE Wenze*, ZHANG Liang
Department of Land Management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, *China*

Abstract: The delineation of wetland reserve boundary is essential not only to the functional sustainability of wetland, but also to the coordination of land resource configuration and spatial distribution among wetland protection, farmland utilization and urban construction. This paper is conducted to analyze wetland reserve boundary in light of the theory of source and sink landscape interaction by using a case study of the southern bank of Hangzhou Bay. The spatial differentiation of wetland protect source and sink landscape including ecological bound and spatial constraints assessment were analyzed respectively. And wetland reserve boundary and its type were delineated by using the minimum cumulative resistance model. The case study demonstrated the applicability of research strategy by using minimum cumulative resistance model based on spatial constraints assessing and ecological bound zoning in delineating wetland reserve boundary. While accounting for 52.69% is of the ecological bound, high constraint district or medium constraint district, only percent of 34.53%, 12.79% are low constraint district and none constraint district, showing an intensive constrained trend of spatial pattern. The area of wetland reserve boundary and buffer zone have the area of 49.11km^2, 24.07km^2 respectively, taking the percentage of 5.47% in the southern bank of Hangzhou Bay, revealing that the space of wetland reserve is limited. In addition to ecological bound, wetland reserve boundary can be classified into three types including preserved forest area, farmland expansion and water

基金项目:国家社会科学基金重点项目(14AZD124);国家自然科学基金项目(41671533);中央高校基本科研业务费专项
收稿日期:2016-12-01; **网络出版日期**:2017-10-18

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wzyue@ zju.edu.cn

sources.

Key Words: wetland reserve boundary; source-sink landscape; spatial constraint assessment; ecological bound; minimum cumulative resistance model; coastal zone

湿地,被誉为“生物超市”“地球之肾”,与森林、海洋并称为地球三大生态系统[1]。它能够为人类的生存发展提供食物、水源、肥料等物质支持以及污染物降解、净化水质和生物栖息等功能[2]。然而,经济发展需求与科技进步助推人类对湿地资源的垦拓与攫取,无论是经济发达或发展中地区的湿地均因工业和农业发展、居住用地扩张及污染等威胁而备受蚕食[3]。我国湿地面积居世界第四,地理分布跨越尺度大且类型纷繁多样,蕴含丰富的生态和经济价值,科学、有效地保护湿地是我国资源可持续利用的基本内容,也是区域人地关系和谐的必要举措。

在人与自然互动愈加频繁背景下,湿地环境组织与物质构成渐趋复杂,湿地保护研究成为学界热衷探究的课题。研究聚焦于湿地利用症结解构和湿地保护措施、可持续发展战略的探索[4-7],解析威胁湿地保护的扰动因素及其外部影响[8-11],分析湿地保护的效用与经济意义[12-13],基于区域湿地保护空缺辨识构建优化保护格局[14-15],湿地保护重要性的评价与区划[16]。湿地保护边界研究则多采用植物、土壤和水文等指标辨识自然边界[17-21],鲜触及人类对湿地保护边界识别与引导保护的命题[22],反映了人类对湿地保护边界议题的关注缺失。在多重人地矛盾的制约与影响下,湿地保护边界划定是发挥湿地自然功能也是缓解湿地的人为干扰的重要措施,相关研究仍显匮乏。

海岸带地区是我国经济与人口重心,经济开发与生态保护矛盾制约着海岸带土地利用发展,其冲突焦点为:因陆域土地资源的桎梏遂向海和滩涂索地,建设用地扩展引致滩涂湿地逐渐退缩。伴随“拓展蓝色经济空间”发展纳入“十三五”规划及“一带一路”战略深入,作为陆域向海洋战略推进支点的海岸带,其土地资源利用配置甚为关键——建设用地扩张与规划约束下维持湿地保护范围以协调生态与经济效益步调,因而如何破解因人类活动排他性诱导的湿地资源保护困局对海岸带土地资源可持续的意义不言而喻。基于以上考虑,研究择取杭州湾南岸为研究靶区,辨识湿地保护“源”和保护优先等级,从城镇化、规划、生态和自然因素集成的湿地空间约束评价和生态断界两个层次构建“汇”景观空间差异,利用改进的最小累积阻力模型模拟湿地保护所需克服的累积阻力,以探索海岸带湿地资源保护的约束空间和保护界限,希冀为探索海岸带湿地的保护提供管理策略借鉴。

1　研究区与研究方法择取

1.1　研究区概况

杭州湾南岸呈倒 V 形冠于浙江省宁波市北部,西起余姚市,东至镇海角,介于东经 120°—121°,北纬 29°55′—30°27′,北毗杭州湾河口滩涂,南枕翠屏山丘陵区。研究区由沿山低丘、湖海相淤积平原和沿海滩涂组成,翠屏山湖区、慈溪平原河网、滩涂地等湿地资源丰富(图 1)。域内东南丘陵区密布坑塘水面、湖泊,滨海沉积平原呈扇状北凸,密集河网、沟渠构成平原水网。沿海滩涂分布广袤,其面积达 274.52km^2,为淤泥质岸滩。区域既为宁波市农业基地也是浙东的工业重镇,2013 年各乡镇农民可支配收入均超 20000 元,属经济发达地区。区域面积 1337.83km^2,建设用地、耕地为该区域主要土地利用类型,占比分别为 37.68%、22.45%,域内余姚北部、杭州湾新区和镇海为三大核心城镇带,土地具备良好的经济发展潜力空间[23]。迫于陆域土地资源所限与建设用地扩张需求,研究区内滩涂围垦、河流填埋与新区建设步伐加快,仅慈溪段已完成围垦151.33km^2,余姚、镇海规划围垦达 108.67km^2。另有 77.26km^{2}滩涂规划于有条件建设区,面临着随时被建设用地侵吞的威胁。显然,在城镇扩张及规划的约束下,湿地保护面临的形势将愈发严峻。

1.2　研究数据支持

研究数据来源:(1)土地利用和城市规划数据。包括余姚市、慈溪市和镇海区第二次全国土地调查

2013 年度更新数据、2020 年土地利用规划数据,宁波市滩涂围垦造地规划(2011—2020 年)、宁波市城市总体规划(2005—2020 年)市域生态保护红线分区图及生态保护分类图。(2)自然背景数据。源自中国科学院地理空间数据云平台的 30m 空间分辨率 DEM 数据、Landsat8 数据,其中 Landsat 8 数据条带号为 118、行编号 39,云量为 2.37%,日期为 2013 年 8 月 29 日;宁波市地质灾害与地质沉降成果图提取自宁波市国土资源局门户网站。(3)城镇人口与交通数据。人口数据源于同年份余姚市、慈溪市和镇海区统计年鉴乡镇人口;交通网络数据根据宁波市交通路线图矢量化获得。(4)环境保护数据。废水、污水、重金属等污染源监测企业和污水处理厂依据宁波市环保局所发布的 2013 年宁波市监控企业名单和污水处理公司名录收集,结合 google 地图和企业地址进行地理定位;宁波海水质量由 2013 年宁波海洋环境公报的宁波沿海海域污染图件数字化获取。

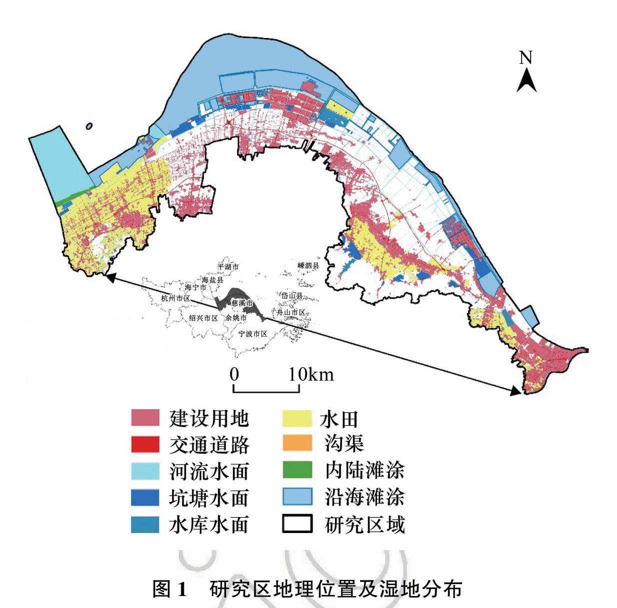


图 1 研究区地理位置及湿地分布

Fig.1 Location and wetland distribution of the study area

2 研究思路与方法

2.1 湿地保护"源"界定

湿地保护是抗拒和弥补人类活动对湿地生态扰动的过程,为生物提供栖息环境满足生存条件,利于湿地环境的稳定与发展,其目标是维持湿地功能永续。其中,湿地是湿地保护事件产生与扩散的起点和源头,是生物活动、环境物质交换的基本场所,为促进生态过程作用的景观斑块,属于"源"景观类型。鉴于湿地缺乏统一分类系统,研究采用湿地公约的定义,即湿地系不问其为天然或人工、常久或暂时之沼泽地、湿原、泥炭地或水域地带,带有或静止或流动、或为淡水、半咸水或咸水水体者,包括低潮时水深不超过 6m 的水域。结合任丽燕[24]、田素娟等[25]基于土地利用的湿地提取,析出河流水面、沿海滩涂、内陆滩涂、坑塘水面、水库水面、沟渠和水田 7 类湿地保护源。同时,鉴于"源"景观对生态保护的贡献存在区别,不同类型景观面对生态过程的影响时,需要甄别它们的作用强弱[26]。本文依据分布格局、景观破碎度、开发特征设定"源"保护优先等级系数以体现性质强弱,人工影响程度越高,其保护优先等级越低,反之则相反。

2.2 "汇"景观空间限制等级辨析

"汇"景观对湿地保护过程起负向滞缓作用,是诱使湿地萎缩、功能退化的约束成因。考虑到"汇"景观作用强弱与传播媒介性质息息相关,对湿地空间的约束特性存在差异,对湿地保护空间划定影响程度不尽相同,依据强弱层次划分为湿地保护阻力和生态断界两类。保护阻力包括城镇扩展、人口集聚、产业发展、自然条件等阻滞因素,由湿地空间约束评价形成,评价结果代表湿地保护生态阻力基面特性。生态断界象征湿地保护无法逾越的人工边界,指随着空间约束等级攀升,生态保护阻力达到峰值的地带。它属于高度人工化地区,多为生态活动罕至地区。

研究归纳了自然环境、城镇化影响、生态重要性和规划措施等因素 16 个指标建立湿地的空间约束评价体系(表 1),采用层次分析法和德尔菲法运算指标权重测度空间约束差异。指标意义与处理如下:

(1)自然环境

自然环境是湿地演化的基础本底,对湿地保护存在直接与间接的影响效应。湿地所处的地域环境直接影响约束压力,山地、丘陵的湿地自然水土发育条件优越且不易被人为活动干扰,因此以高程、坡度指标表征自然因子对湿地保护的直接约束力;相反地,在趋利避害的开发取向下,自然灾害鲜见区更受土地利用与开发的

青睐,地质灾害、地面沉降指示了对湿地保护的间接约束。高程、坡度数据依据 DEM 数据提取与生成,地质灾害与地面沉降数据通过矢量化获取。

(2)城镇化影响

城镇化影响是在城镇化进程中日益强盛的人为活动对湿地构成的胁迫,产业规模扩大、人口膨胀、环境污染等是诱使湿地数量缩减与质量恶化的典型症结。产业园区、污染源以域内产业新城和重金属、污水、固体废物等排放企业为基点进行多环缓冲分析,表征产业园、新区和人为污染对湿地的负外部性效应。人口集聚度反映人口集中对湿地的干扰,以改进的人口集聚度公式测度[27]:

$$\mathrm{PGI}_i = P_j/n \cdot D_{ij} \cdot A_i$$

式中,PGI_i 代表第 i 个村庄聚落的人口聚集度,P_j 是 i 村庄所属第 j 个乡镇,n 是第 j 个乡镇区的村庄总数量,D_{ij} 代表 i 村庄至 j 乡镇中心的距离加权系数,A_i 为 i 村庄面积比例系数。基于测度结果利用克里金插值生成人口影响因素的基面。

交通可达度是保障区域紧密联系的纽带,力促区域土地利用与开发[28],随即构成对湿地保护的压力,可达性水平愈发达对湿地保护构成的压力愈强。其计算公式为:

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} T_{ij}$$

式中,A_i 表示乡镇 i 到宁波其他村镇节点所需要的耗时总和,n 表示节点总数,T_{ij} 表示节点 i 到 j 点的所耗费最少时间。基于城镇、村庄节点与交通网络等数据通过 ArcGIS 网络分析来模拟可达程度。

(3)生态重要性

杭州湾南岸为候鸟、底栖生物的典型栖息场所,承担维护生境和生物多样性作用。湿地具备水源供给、调节和净化水质作用,而为维持湿地生态功能的可持续往往须采取人工污水处理措施。故以水功能分区来表征杭州湾南岸湿地水源调蓄功能及人为保护等级强弱,以宁波市生态分类图矢量化处理;以污水处理来表征人工水处理技术对湿地水功能处理的支持,以缓冲区分析获得。

生态系统生物多样性服务功能发达的地域能为物种提供良好生境,以生境敏感性指数进行表征[29-30],计算公式如下:

$$S_i = l \cdot n \cdot m$$

式中,S_i 表示 i 地类的生境敏感性指数,l 为土地利用类型,n 为生物多样性服务当量,m 为土地所在区域保护级别修正系数。本文归纳为城镇扩展边界、其他区域、生态保护区三种开发强度环境,修正系数分别赋值 0.75、1 和 1.25。

植被覆盖能够促进湿地生物活动、物质交换和能量流动,体现了区域生态系统的能量和活力,是衡量湿地生态系统安全和健康的重要指标[31-32]。通过 Landsat8 影像提取,处理方式如下:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR}-R}{\mathrm{NIR}+R}$$

NDVI 为植被覆盖指数,NIR 表示近红外波段反射率值,R 为红外波段的反射率值。其值介于−1 到 1 之间,负值表示地面覆盖为云、水、雪;0 为岩石或裸土;正值代表植被覆盖,指越大随覆盖度越大。

(4)规划措施

规划措施是人类管控湿地资源配置的重要手段,体现了人为规避建设用地、耕地扩张挤兑湿地空间的引导举措。引入土地规划一致性考察湿地时空序列的演化,辨别区域湿地保护和风险空间格局,通过土地利用现状与 2020 年土地利用规划数据叠加获取。建设用地管制是引导管制城乡用地建设活动所限定的区域范围,体现了建设用地控制对湿地潜在威胁与空间约束的差异;生态区管制实质是对生态环境安全本底的维护,旨在于保护和监管生态敏感区域,反映的是人类生态意识所策动对湿地的保护行为力度,通过宁波城市规划生态红线分区图数字化获取;滩涂围垦规划是迫于陆域土地资源桎梏,政府转而向滩涂、海域拓展空间以满足经济发展需求,代表了人类对滩涂资源开发所施加的压力,这是目前海岸带滩涂利用的突出现象。

表 1 湿地空间约束评价体系

Table 1 Evaluation system of wetland spatial constraints

准则 Dimensions	指标 Indicators	权重 Weights	等级赋值 Valuation			
			1	3	5	7
自然环境	高程/m	0.0594	≥350	250—350	150—250	<150
Natural environment	坡度/°	0.0635	≥25	15—25	5—15	<5
	地质灾害	0.0449	高易发生区	中易发生区	低易发生区	不易发生区
	地质沉降	0.0394	高易发生区	中易发生区	低易发生区	不易发生区
城镇化影响	人口集聚度/人	0.0609	<1500	1500—2500	2500—3500	≥3500
Urbanization impacts	交通可达度/h	0.0886	≥106	94—106	80—94	<80
	污染源/m	0.0587	≥1000	500—1000	100—500	劣 4 等海水、<100
	产业园区/m	0.0789	≥1000	500—1000	<500	产业园区内
生态重要性	生境敏感度	0.0589	≥10	5—10	1—5	<1
Ecological significance	植被覆盖	0.0885	≥0.3	0.15—0.3	0—0.15	<0
	污水处理/m	0.0715	<100	100—500	500—1000	≥1000
	水功能分区	0.0614	水源保护区、湿地保护区	水源涵养区	洪水调蓄区、森林公园	其他区域
规划措施 Planning measures	规划一致性	0.0793	滩涂沼泽、水田、河流水面、水库水面、坑塘水面、新增湿地	自然保留地、园地、林地	风景名胜设施用地、农田水利用地、水工建筑用地	独立建设用地、村庄、公路用地、建制镇、特殊用地、城市
	建设用地管制	0.0735	禁止建设区	限制建设区	有条件建设区	允许建设区
	滩涂围垦规划	0.0311	非围垦规划区			围垦规划区
	生态区管制	0.0415	生态管制区			非生态管制区

2.3 最小累积阻力模型

基于湿地保护“源”和“汇”景观单元要素,文章引入基于湿地保护等级系数改进的 MCR 模型[33],测度湿地保护的最小累积阻力面。通过叠加不同湿地保护等级所产生的最小累积阻力面,综合反映湿地源保护须克服多重空间约束因子产生的生态阻力,生态阻力越大则越不利于湿地保护。其计算方式如下:

$$MCR = f\min \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_i \times K_j)$$

f 为一个未知的正函数,表示最小累积阻力和空间约束性格局呈正相关关系, D_{ij} 为源 j 到评价基面单元 i 的空间距离, R_i 是基面栅格单元 i 对运动过程的阻力系数, K_j 为湿地源 j 保护优先等级系数。

3 湿地保护“源-汇”空间景观单元构建

3.1 “源”景观类型与级别划分

综合 Landsat8 影像与土地利用现状数据,应于湿地分布区位、性状、与城镇带邻近度等考虑,研究将湿地保护源分为 3 个等级(表 2)。河流水面、滩涂面积达到 386.92km^2,呈连片式分布于杭州湾沿岸,景观破碎度小且受人为开发活动有限,整体生态功能与生态风险抗性最强,保护优先等级最高;坑塘水面、水库水面保护优先等级次之,面积为 40.26km^2,尽管属人为开发,但多布局于杭州湾沿岸、翠屏山区,受自然作用明显;沟渠、水田以集聚形式分布,间杂于余姚北部和镇海等杭州湾南岸核心城镇带,面积 172.12km^2,受人类生产、生活干扰导致破碎度大,所以保护等级最弱。各等级系数指代源景观优先保护等级,一级为 1,二级为 0.95、三级为 0.90。

表 2　湿地保护源性质划分

Table 2　The characteristic classification of wetland protect sources

源 Sources	地类 Land types	分布格局 Spatial patterns	景观破碎度 Landscape fragmentation	开发特征 Developmental features	等级系数 Ranking coefficients
一级 Ranking first	河流水面、沿海与内陆滩涂	沿杭州湾南岸自西向东连片分布,河流多呈网状汇流入杭州湾	0.04	人为开发活动有限,以自然作用为主	1.00
二级 Ranking second	坑塘水面、水库水面	集中于沿岸、翠屏山区,部分零星附着于三大核心城镇带	0.17	人为开发,长期受自然作用影响	0.95
三级 Ranking third	沟渠、水田	以点汇成片分布在余姚北部、翠屏山区北部和镇海	0.91	人工开发,服务于人类日常生产、生活	0.90

3.2　湿地保护"汇"景观空间限制识别

3.2.1　湿地生态断界的划分

生态断界是人类物质交互、能量沟通最为活跃的场所,以人类为核心的群落活动对其他生物的强烈排斥导致内部生态功能的丧失,与湿地的特性大相庭径。生态断界之于湿地的约束能力近乎极限,因此由湿地跨越断界的生态能值发生质变,对湿地的地理分布构成刚性约束。生态断界总面积达 286.73km^2,面积占研究区 21.43%,可划分为两类:一类为城乡建设用地,包括城市、建制镇、农村和独立工矿用地,占地面积达255.84 km^2;第二类为交通运输用地,包含铁路用地、公路用地、港口码头用地等,总计面积为 30.89km^2。

3.2.2　湿地保护空间约束层级解析

基于自然环境、城镇化影响、生态重要性和规划措施测度并以自然断裂法划分湿地空间约束格局,形成"汇"景观集成的空间分异(图 2),其本质反映了"汇"景观单元通过空间约束因素叠加的垂直过程对于湿地保护的影响度。

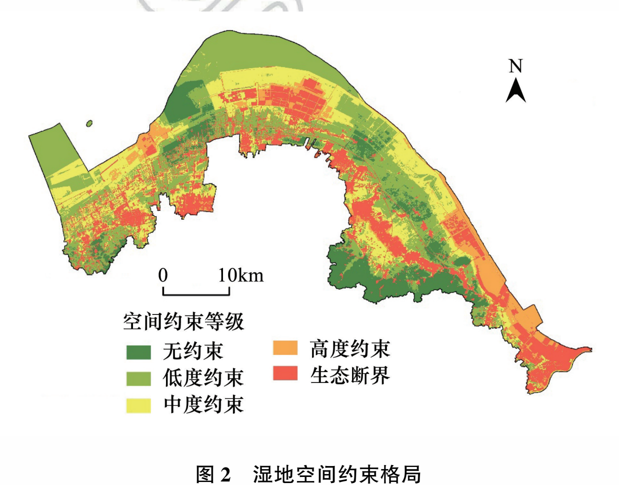


图 2　湿地空间约束格局

Fig.2　The spatial constraint pattern of wetland

以图 2 所示,杭州湾南岸湿地空间约束格局呈组团式空间分异和"两头小中间大"的数量层次特征,反映了区域大部分地区受重外部性深刻影响。就生态断界、高度约束与中度约束等级区域 68.74%的面积占比衡量,杭州湾南岸湿地保护面临着较强的约束与压迫形势。高度空间约束级区面积为 118.51km^2,呈现以小曹娥滨海产业新区、杭州湾新区、东部沿岸产业带为核心的地理格局,与生态断界交错分布,反映了集中和高强度生产、生活行为对湿地保护显著的负外部性效应。中度约束级区面积高达 299.63km^2,比例为 22.40%。除余姚北部沿岸广袤分布,主体多紧紧环绕在高度约束级区外围,尽管无法判别因人类活动增强能否导致中度约束级区的情势恶化,而因其数量庞大,须意识到:管控其内部开发活动以规避生态阻力的上升。

低度约束级区面积最大,为 461.91km^2,占比 34.53%,自余姚北部区域延伸至东部镇海城区,贯穿杭州湾南岸,包含研究区内主要的农垦区和滩涂。须指出的是,杭州湾新区东部滩涂是新区拓展和围垦规划所觊觎的重点地域,近期约束力恐将快速上升。杭州湾湿地保护公园和慈溪市南部翠屏山区不存在着湿地的空间约束影响,其余部分散布于两者周围或集中分布在余姚段南部林区、慈溪农垦区。其面积总计 171.05km^2,为杭州湾南岸湿地保护不可逾越的生态底质。

4　基于最小累积阻力测度的湿地保护界限辨识

在识别湿地保护"源""汇"景观及空间特征构架上,利用累积阻力模型结合"源"保护优先系数估测湿地

保护的生态阻力值。由源向汇景观转移的生态流随着距离推移逐级上升,而穿越某些突变点时,其生态阻力值发生骤变。这一过程昭示着湿地保护的生态能值达到某个临界点后,湿地保护区域所增加的面积及生态内涵急剧下降,故以最小累积生态阻力的阈值作区划方式具备可行性与科学性,在生态区划研究中得到实践应用[34-35]。因此,文章基于突变拐点思考,以最小累积阻力值和面积曲线间隔的突变点来划分湿地保护边界与缓冲区带,其划分阈值分别为 8238、10386,得到湿地保护范围(图 3)。

观察图 3,尽管杭州湾南岸的湿地布局范围较大,但基于最小累积阻力模型测度的保护界限面积为49.11 km²,缓冲带面积为 24.07km²。大体上,湿地保护界限与缓冲带空间布局基本一致,受距离影响阻力递增,缓冲带多以半环装环绕湿地保护界限外围。两者面积之和仅占杭州湾南岸地区 5.47%,可见湿地保护的拓展与弹性调整空间极为有限。

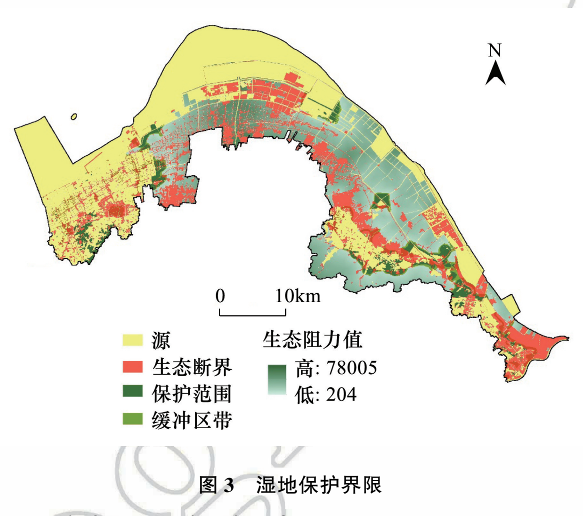


图 3 湿地保护界限

Fig.3 The delineation of wetland reserve boundary

湿地保护边界主要分为三类:第一种类型为保育林区,主要分布于余姚段南部和翠屏山区,总面积34.51 km²。前者由双尖山、牛角山、大羊山等低矮丘陵构成的林地片区,后者汇聚了杜湖水库、灵湖、窖湖等湿地源,保护界限将密集的湖区串联成片并延伸至镇海北部。两者均保持集聚、独立形态存在与运作,人为活动影响甚微,可有效地为湿地保护提供水源涵养功能。其外围缓冲带面积为 13.86km²,因余姚段南部丘陵片区部分与村镇聚落相邻,缓冲带主要由低丘、山坡外围零落的耕地、农村道路组成。而前者不同的是,翠屏山区湿地保护缓冲带以延绵的四明山余脉为轴,将五磊山景区、沟谷灌木林、旱地依次纳入,形成与湿地交融互馈的自然机体。

第二类为农地延伸型保护界限,指沟通水田、沟渠、坑塘水面等点、线源地附着于农耕区周边的湿地保护界限,最显著的特征是农地组团式发展使湿地保护范围呈块状集聚形态,面积为 11.25km²,缓冲带面积达7.82 km²。其中涵盖慈溪西北部庵东—周巷农垦区,北依杭州湾湿地保护区,联接庵东农垦场与周巷基本农田保护区;另一部分坐落于观海卫镇中横—三海交通枢纽,依托交通枢纽、河网孕育成为城郊农业带,休闲庄园、果蔬市场以环形层次围绕保护区。

第三类为水源保护型界限,分布于杭州湾新区以东水库区,保护面积与缓冲带面积共 5.75km²。受杭州湾新区生态断界所限,湿地保护界限西段以直线式隔断,但杭州湾产业区高集聚的生产、生活水源及农业发展需求仍由水库区和湿地保护界限所维系。边界呈东向延伸态势,东段属重点海涂围垦区,主要以建坝、筑沟、引水、培田的模式来实现农垦运作,水库区为排灌和农耕的水源地,其保护界限及缓冲带的东扩能够连接垦区来稳定水源供给,提高排水与纳水能力。

5 结论与讨论

从"源-汇"景观研究视角入手,研究解析了湿地保护源并评价了汇景观空间单元对湿地保护的空间约束空间分异,利用改进最小累积阻力模型对杭州湾南岸湿地保护界限进行了模拟与辨识,得到以下结论:

(1)基于多重因素的空间约束评价与湿地生态断界的划分,通过最小累积阻力模型有效地刻画外部因子集成对湿地保护的限制及水平距离上的差异,以量化方式展现湿地保护所处阻力最小地带,为划分湿地保护边界构思了新的思路。

(2)杭州湾南岸生态断界与中高约束的区域占据研究区 52.69%比例,无约束地域仅为 12.79%,可见整体上杭州湾南岸湿地保护经受较强空间约束,面临多重因素综合压迫的性势。同时,低度约束区域占据

34.53%,说明杭州湾南岸区域多介于高低空间约束性势转换或过渡阶段,进一步挤压了湿地保护的盈余空间。

(3)研究划分湿地保护边界范围与缓冲区带为 49.11、24.07km^2,仅占据杭州湾南岸 5.47%,杭州湾南岸湿地保护范围空间有限。地理分布上,保育林区型边界分布在余姚段南部和翠屏山区,为林地、河湖集中片区;农地延伸型边界布局在慈溪西北部庵东—周巷农垦区与观海卫镇中横—三海交通枢纽,均环绕于研究区农田片区外围;水源保护型边界分布在杭州湾新区东部水库区,为围垦、农业与产业发展的水源供给地。

在城镇化快速推进的背景下,由于湿地经济效益不甚显著,构建湿地保护边界始终是悬而未决的问题。依据本文核心内旨,可遵循景观基质—生态过程—功能定型的阶段演化逻辑来搭建湿地保护策略构架:从景观基质来看,域内水田基本已纳入基本农田保护区划,河流水面、滩涂亦因区位、自然特点难以开发得以幸免,重点是如何控制坑塘水面与水库水面退化趋势。另一方面,生态断界与湿地保护源的衔接产生的两侧"极化",警示着须严控建设用地发展边界和湿地保护边界的规模,从本质上遏制城镇用地持续外扩以保障湿地空间。考虑到人类活动、污染等跨越生态断界的行为、物质流动和能量交换,须在湿地端设置绿化带、沟渠等缓冲阻隔,在城镇端减少高强度、大规模人类生产和生活行为与设施,避免对湿地侧的隐性影响与侵占;在生态过程阶段,空间约束力挤兑湿地空间产生生态阻力值的强弱,研究据此辨析湿地保护边界与缓冲带。其本质上通过设定"灰空间"过渡的弹性模式,贯彻空间浮动管控的弹性思维,为城镇化与湿地保护预留缓冲空间,缓解城镇化与湿地保护直接损益关系,为数量规模与管理决策提供调节余地;依据功能分析,湿地承袭区域土地功能定位,透露着湿地保护的异质性要求。杭州湾南岸生活、生产和生态功能地域交错格局要求湿地保持区域功能的彼此独立,保护边界则分别承担生态保育、耕地生产、水土涵养的功能,须以区别化措施协调界限与邻近保护源功能,构建保护源基质辐射与保护边界、缓冲带的廊道联通互哺的功能有机体,发挥不同区段湿地生活、生产和生态功能。

研究也存在待深化之处。因考虑湿地"源"和生态断界细碎斑块多呈集聚形态,整体上性质影响有限,并未剔除此类景观斑块,进一步研究则须考虑"源-汇"景观斑块甄选的阈值。此外,尽管依据突变点辨识来最小累积阻力值域划分边界,但仍应探索集成多要素的综合区划法深化对累积阻力的断点识别。

参考文献(References):

[1] 吕宪国. 湿地科学研究进展及研究方向. 中国科学院院刊, 2002, 17(3): 170-172.
[2] Turner R K, Bateman I J, Georgiou S, Jones A, Langford I H, Matias N G N, Subramanian L. An ecological economics approach to the management of a multi-purpose coastal wetland. Regional Environmental Change, 2004, 4(2/3): 86-99.
[3] Turner K. Economics and wetland management. Ambio, 1991, 20(2): 59-63.
[4] 刘红玉, 赵志春, 吕宪国. 中国湿地资源及其保护研究. 资源科学, 1999, 21(6): 34-37.
[5] 黄翀, 刘高焕, 王新功, 叶宇, 李亚飞, 黄锦辉. 黄河流域湿地格局特征、控制因素与保护. 地理科学, 2012, 31(10): 1764-1774.
[6] 杨秀春, 朱晓华, 黄家柱, 谢志仁. 江苏省湿地资源现状及其可持续利用研究. 经济地理, 2004, 24(1): 81-84.
[7] 俞穆清, 田卫, 刘景双, 朱颜明, 孙道玮. 向海国家级自然保护区湿地资源保护与可持续利用探析. 地理科学, 2000, 20(2): 193-196.
[8] 任丽燕, 吴次芳, 岳文泽, 刘勇, 陆张维. 环杭州湾城市规划及产业发展对湿地保护的影响. 地理学报, 2008, 63(10): 1055-1063.
[9] 李景宜. 陕西渭河下游湿地环境风险因素分析. 地理科学, 2007, 27(3): 371-375.
[10] 许林书, 姜明. 扎龙保护区湿地扰动因子及其影响研究. 地理科学, 2003, 23(6): 692-698.
[11] 刘红玉, 李兆富. 流域土地利用/覆被变化对洪河保护区湿地景观的影响. 地理学报, 2007, 62(11): 1215-1222.
[12] Zheng Y M, Zhang H Y, Niu Z G, Gong P. Protection efficacy of national wetland reserves in China. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(10): 1116-1134.
[13] 王昌海, 崔丽娟, 马牧源, 毛旭锋. 湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例. 生态学报, 2012, 32(17): 5337-5344.
[14] 李晓文, 郑钰, 赵振坤, 黎聪. 长江中游生态区湿地保护空缺分析及其保护网络构建. 生态学报, 2007, 27(12): 4979-4989.
[15] 宋晓龙, 李晓文, 张明祥, 张黎娜, 李东来. 黄淮海地区湿地系统生物多样性保护格局构建. 生态学报, 2010, 30(15): 3953-3965.
[16] 张艳艳, 孔范龙, 郗敏, 李悦, 訾园园. 青岛市湿地保护红线划定研究. 湿地科学, 2016, 14(1): 129-136.
[17] Segal D S, Latham P J, Best G R. Delineating a wetland boundary using vegetative, soil and hydrologic characteristics: a Florida cypress dome

example. Wetlands, 1987, 7(1): 51-58.

[18] Adams D A, Buford M A, Dumond D M. In search of the wetland boundary. Wetlands, 1987, 7(1): 59-70.

[19] Tiner R W. The primary indicators method-a practical approach to wetland recognition and delineation in the United States. Wetlands, 1993, 13(1): 50-64.

[20] 殷书柏, 吕宪国. 湿地边界确定研究进展. 地理科学进展, 2006, 25(4): 41-48.

[21] 殷书柏, 吕宪国. 湿地边界确定的理论、方法与案例. 东北林业大学学报, 2006, 34(5): 66-69.

[22] Pearsell G, Mulamoottil G. Wetland boundary and land-use planning in southern Ontario, Canada. Environmental Management, 1994, 18(6): 865-870.

[23] 陈阳, 马仁锋, 任丽艳, 李伟芳, 李加林. 海岸带土地发展潜力评价——以杭州湾南岸为例. 海洋学研究, 2016, 34(1): 27-34.

[24] 任丽燕. 湿地景观演化的驱动力、效应及分区管制研究——以环杭州湾地区为例[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.

[25] 田素娟, 陈为峰, 胡金叶, 许广永, 陈龙亮, 赵娜. 基于区域土地利用规划的黄河口湿地退缩风险分析. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1670-1679.

[26] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. "源""汇"景观理论及其生态学意义. 生态学报, 2006, 26(5): 1444-1449.

[27] 谢花林, 李秀彬. 基于GIS的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例. 生态学报, 2011, 31(1): 230-238.

[28] Hansen W G. How accessibility shapes land use. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25(2): 73-76.

[29] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.

[30] 谢花林, 李秀彬. 基于GIS的区域关键性生态用地空间结构识别方法探讨. 资源科学, 2011, 33(1): 112-119.

[31] 朱卫红, 苗成玉, 郑小军, 曹光兰, 王凡凡. 基于3S技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究. 生态学报, 2014, 34(6): 1379-1390.

[32] 蒋卫国, 潘英姿, 侯鹏, 李雪, 季维, 郑建蕊. 洞庭湖区湿地生态系统健康综合评价. 地理研究, 2009, 28(6): 1665-1672.

[33] Ye Y Y, Su Y X, Zhang H O, Liu K, Wu Q T. Construction of an ecological resistance surface model and its application in urban expansion simulations. Journal of Geographical Sciences, 2015, 25(2): 211-224.

[34] 周锐, 王新军, 苏海龙, 娄翼来. 平顶山新区生态用地的识别与安全格局构建. 生态学报, 2015, 35(6): 2003-2012.

[35] 李谦, 戴靓, 朱青, 杨桂山, 吴绍华. 基于最小阻力模型的土地整治中生态连通性变化及其优化研究. 地理科学, 2014, 34(6): 733-739.

